

IN-SITU MONITORING METHOD IN CRYSTALLIZATION STATE

Patent number: JP2004146782 (A)
Publication date: 2004-05-20
Inventor(s): TAKAMI YOSHIO
Applicant(s): ADV LCD TECH DEV CT CO LTD
Classification:

- international: *H01L21/66; C30B13/28; G01N21/84; H01L21/00; H01L21/20; H01L21/268; H01L21/66; C30B13/00; G01N21/84; H01L21/00; H01L21/02; (IPC1-7): H01L21/268; H01L21/20*

- european: C30B13/28; G01N21/84F; H01L21/00S2H6; H01L21/00S8B; H01L21/20D2

Application number: JP20030184415 20030627

Priority number(s): JP20030184415 20030627; JP20020251853 20020829

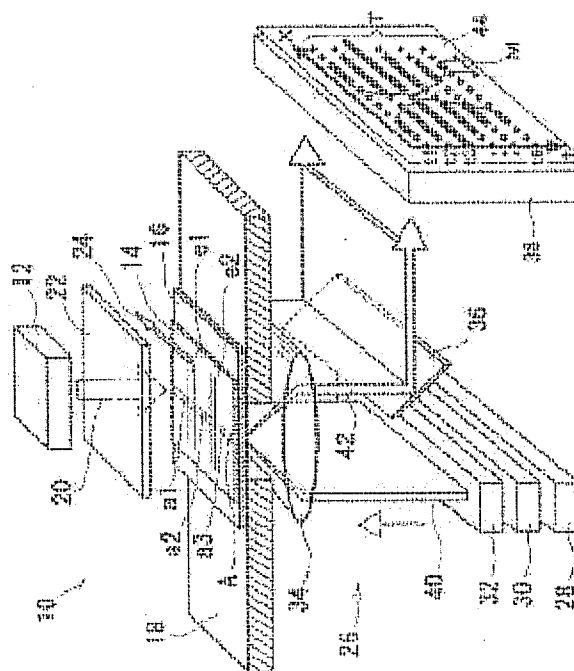
Also published as:

 GB2393248 (A)
 GB2393248 (B)
 US2005078298 (A1)
 US7102750 (B2)
 US2007002308 (A1)

more >>

Abstract of JP 2004146782 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To accurately monitor the crystallization state of thin films at high time resolution real time while monitoring the position where the state changes from melting to solidifying and crystallizing in the irradiation region of energy rays. ; **SOLUTION:** An in-situ monitoring method of crystallization state is used for laser annealing treatment performing energy ray irradiation for at least one of crystallization and acceleration of crystallization of thin films. In the in-situ monitoring method of the crystallization state, monitoring light for monitoring the crystallization state of thin films is projected on at least a plurality of places for monitoring the region having a predetermined area of at least one of the front surface and rear face of the thin film directly or through a substrate at the same time at least during or after of before, during, and after the projection of energy rays. The time change of the intensity of at least one of the reflected light and transmitted light of the monitoring light from the surface or the rear face of the thin film is measured as light intensity distribution related with the position of the place for monitoring. ;
 COPYRIGHT: (C)2004,JPO



(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-146782

(P2004-146782A)

(43) 公開日 平成16年5月20日(2004.5.20)

(51) Int.Cl.⁷

H01L 21/268

H01L 21/20

F1

H01L 21/268

H01L 21/20

T

テーマコード(参考)

5F052

審査請求 未請求 請求項の数 18 OL (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2003-184415(P2003-184415)
 (22) 出願日 平成15年6月27日(2003.6.27)
 (31) 優先権主張番号 特願2002-251853(P2002-251853)
 (32) 優先日 平成14年8月29日(2002.8.29)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 501286657
 株式会社 液晶先端技術開発センター
 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地
 (74) 代理人 100070024
 弁理士 松永 宣行
 (74) 代理人 100125081
 弁理士 小合 宗一
 (74) 代理人 100125092
 弁理士 佐藤 玲太郎
 (72) 発明者 高見 芳夫
 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地
 株式会社液晶先端技術開発センター内
 Fターム(参考) 5F052 AA02 BB02 BB05 BB07 CA07
 DA01 DA02 DA03 DB07 FA01

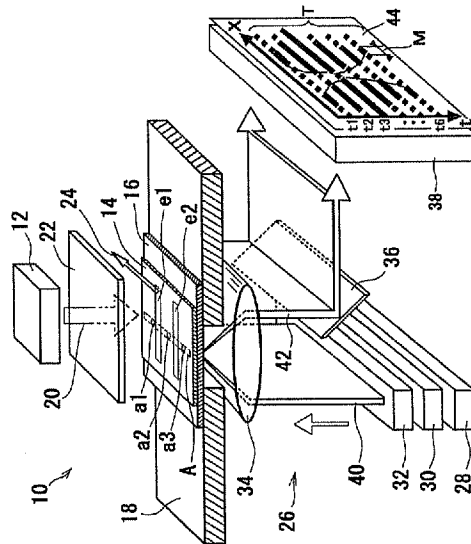
(54) 【発明の名称】 結晶化状態のin-situモニタリング方法

(57) 【要約】

【課題】 エネルギー線の照射領域において、溶融から固化及び結晶化へと変化する位置をモニタリングすることができる、薄膜の結晶化状態を高時間分解能リアルタイムで正確に監視すること。

【解決手段】 結晶化状態のin-situモニタリング方法は、薄膜の結晶化及び結晶化促進の少なくとも一方のためにエネルギー線照射を行うレーザアニール処理に用いられる。結晶化状態のin-situモニタリング方法は、エネルギー線照射の前、間及び後の少なくとも間又は後に、薄膜の結晶化状態を監視するためのモニタ光を薄膜の表面及び裏面の少なくとも一方の面の所定の面積を有する領域の少なくとも複数の監視用の箇所へ直接又は基板を通して同時に照射し、モニタ光の薄膜の表面又は裏面からの反射光及び透過光の少なくとも一方の光の強度の時間的変化を監視用箇所の位置に関係づけた光強度分布として計測することとを特徴とする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項1】

薄膜の結晶化及び結晶化促進の少なくとも一方のためにエネルギー線照射を行うアニール処理における、結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法であって、

前記エネルギー線照射の前、間及び後の少なくとも間又は後に、前記薄膜の結晶化状態を監視するためのモニタ光を前記薄膜の表面及び裏面の少なくとも一方の面の所定の面積を有する領域の少なくとも複数の監視用の箇所 directly 又は前記基板を通して同時に照射するモニタ光照射ステップと、

前記モニタ光の前記薄膜の前記表面又は前記裏面からの反射光及び透過光の少なくとも一方の光の強度の時間的変化を前記監視用箇所の位置に関係づけた光強度分布として計測する計測ステップとを具備することを特徴とする、結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法。

10

【請求項2】

薄膜の結晶化又は結晶化促進のためにエネルギー線照射を行うアニール処理における、結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法であって、

前記エネルギー線照射の前、間及び後の少なくとも間又は後に、前記薄膜の結晶化状態を監視するためのモニタ光を前記薄膜の所定の面積を有する領域の少なくとも複数の監視用の箇所同時に照射するモニタ光照射ステップと、

前記モニタ光の前記薄膜からの反射光又は透過光の強度の時間的変化を前記監視用箇所の位置に関係づけた光強度分布として計測する計測ステップとを具備し、

20

前記計測ステップは、前記薄膜からの反射光及び透過光の少なくとも一方の光を受けて該受けた光に対応する電子を光電変換により発生すること、発生した電子を時間的に変化する電界中を通過させること、通過された電子を受けて該通過電子に対応する投影像を表示面に形成させること、及び、前記投影像の強度分布の時間的変化を計測することを備えることを特徴とする、結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法。

【請求項3】

前記計測ステップにおける前記電界の時間的変化の速度は、前記薄膜の結晶化又は結晶化促進における溶融から固化への変化の速さと同等もしくは速い速度であることを特徴とする、請求項2記載の結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法。

【請求項4】

30

前記モニタ光照射ステップにおけるモニタ光の照射は、前記モニタ光が前記複数の監視用の箇所に同時に照射されるように前記モニタ光を前記薄膜のスリット状の照射領域に照射することを特徴とする、請求項1乃至3のいずれか1項に記載の結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法。

【請求項5】

前記エネルギー線照射は、パルス光による照射であることを特徴とする、請求項1又は2に記載の結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法。

【請求項6】

前記計測ステップにおいて前記薄膜からの前記モニタ光の反射光又は透過光をストリークカメラで検出することを特徴とする、請求項1記載の結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法。

40

【請求項7】

前記モニタ光照射ステップは、前記モニタ光を該モニタ光の断面が前記薄膜上で前記監視用箇所を含むように整形して照射すること、及び、前記薄膜からの反射光及び透過光の少なくとも一方の光を帯状に整形して光電面を有する光電変換器の受光部に入射させることを備えることを特徴とする、請求項1乃至5のいずれか1項に記載の結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法。

【請求項8】

前記モニタ光照射ステップは、複数の前記モニタ光を前記複数の監視用箇所に同時に照射すること、及び、前記薄膜の前記表面又は前記裏面からの反射光及び透過光の少なくとも

50

一方の複数の光を該複数の光が一行に並ぶように光電変換器に入射させることを備えることを特徴とする、請求項1乃至5のいずれか1項に記載の結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法。

【請求項9】

前記モニタ光照射ステップは、さらに、同一の対物レンズにより前記モニタ光を前記薄膜に結像させると共に前記薄膜からの反射光を前記光電変換器の受光部に結像させること、及び、前記対物レンズを経た前記反射光及び前記透過光の少なくとも一方の光を前記モニタ光から光路分離させることを備えることを特徴とする、請求項6乃至8のいずれか1項に記載の結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法。

【請求項10】

前記薄膜は、シリコンを主成分とする薄膜、水素化アモルファスシリコン薄膜、スパッタシリコン薄膜、シリコンゲルマニウム薄膜、及び脱水素処理したアモルファスシリコン薄膜の少なくとも1つからなることを特徴とする、請求項1乃至9のいずれか1項に記載の結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法。

【請求項11】

前記モニタ光の前記薄膜への入射角度は、前記アニール処理の前及び後の少なくとも一方における前記薄膜のP偏光の反射強度が最小になる角度と同一であり、前記モニタ光の前記薄膜への入射光ビームはS偏光及びP偏光のいずれかであることを特徴とする、請求項1乃至10のいずれか1項に記載の結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法。

【請求項12】

前記モニタ光照射ステップは、さらに、前記モニタ光の強度分布を均一化させることを備えることを特徴とする、請求項1乃至11のいずれか1項に記載の結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法。

【請求項13】

前記モニタ光は光電面の波長感帯の範囲にあるレーザ光であることを特徴とする、請求項1乃至12のいずれか1項に記載の結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法。

【請求項14】

請求項1乃至13のいずれか1項に記載の結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法を用いることを特徴とする、アニール方法。

【請求項15】

薄膜の結晶化及び結晶化促進の少なくとも一方のためにエネルギー線照射を行うアニール装置に用いる、結晶化状態の *in-situ* モニタリング装置であって、

前記エネルギー線照射の前、間及び後の少なくとも間又は後に、前記薄膜の結晶化状態を監視するためのモニタ光を前記薄膜の表面及び裏面の少なくとも一方の面の所定の面積を有する領域の少なくとも複数の監視用の箇所直接又は前記基板を通して同時に照射するモニタ光照射器と、

前記モニタ光の前記薄膜の前記表面又は前記裏面からの反射光及び透過光の少なくとも一方の光の強度の時間的変化を前記監視用箇所の位置に関係づけた光強度分布として計測する計測器とを具備することを特徴とする、結晶化状態の *in-situ* モニタリング装置。

【請求項16】

薄膜の結晶化又は結晶化促進のためにエネルギー線照射を行うアニール装置に用いる、結晶化状態の *in-situ* モニタリング装置であって、

前記エネルギー線照射の前、間及び後の少なくとも間又は後に、前記薄膜の結晶化状態を監視するためのモニタ光を前記薄膜の所定の面積を有する領域の少なくとも複数の監視用の箇所に同時に照射するモニタ光照射器と、

前記モニタ光の前記薄膜からの反射光又は透過光の強度の時間的変化を前記監視用箇所の位置に関係づけた光強度分布として計測する計測器とを具備し、

前記計測器は、前記薄膜からの反射光及び透過光の少なくとも一方の光を光電面が受光し光電子を発生する光電変換器と、発生した光電子を時間的に変化する電界中を通過させる

10

20

30

40

50

電界発生器と、通過された光電子を受けて該通過電子に対応する投影像を形成する表示面と、前記投影像の強度分布の時間的変化を計測する計測器とを備えることを特徴とする、結晶化状態の *in-situ* モニタリング装置。

【請求項 17】

前記モニタ光照射器は、前記モニタ光を該モニタ光の断面が前記薄膜上で前記複数の監視用箇所を含むように帯状に整形するモニタ光整形器を備えることを特徴とする、請求項 15 又は 16 記載の結晶化状態の *in-situ* モニタリング装置。

【請求項 18】

請求項 15 乃至 17 のいずれか 1 項に記載の結晶化状態の *in-situ* モニタリング装置を用いることを特徴とする、アニール装置。

10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、エネルギー線（例えば、レーザ光）を用いたアニール処理過程での薄膜の結晶化状態を監視するために行う結晶化状態の *in-situ*（インサイチュー）モニタリング方法及び装置、並びに結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法を用いたアニール方法及び装置に関する。結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法及び装置は、例えば、液晶表示装置や有機エレクトロルミネッセンス（以下「EL」という。）表示装置のスイッチング素子用の薄膜トランジスタを製造する工程で、非晶質半導体薄膜をアニール処理（例えば、レーザアニール処理）するときの結晶化状態の監視のために用いられる。

20

【0002】

【従来の技術】

従来、ガラス基板に形成された非晶質（以下「アモルファス」という。）シリコン薄膜を、例えばレーザアニールにより結晶化させるときの薄膜の結晶化を調べる方法として、モニタ光を薄膜のアニール領域内の局所的な 1 箇所に照射し、照射箇所からの反射光の強度を検出する方法がある（例えば、特許文献 1、特許文献 2 及び非特許文献 1 を参照。）。

【0003】

【特許文献 1】

特開 2001-257176 号公報

【0004】

30

【特許文献 2】

特開平 11-148883 号公報

【0005】

【非特許文献 1】

エム・ハタノ (M. Hatano)、エス・ムーン (S. Moon)、エム・リー (M. Lee)、ケイ・スズキ (K. Suzuki) 及びシー・ピー・グリゴロポラス (C. P. Grigoropoulos) 著の「シリコン薄膜の熔融及び再固化におけるエキシマレーザ誘起温度場 (Excimer Laser-Induced Temperature Field in Melting and Resolidification of Silicon Thin Films)」、応用物理学誌 (Journal of Applied Physics)、第 87 巻第 36~43 頁、2000 年

40

【0006】

上記非特許文献 1 によれば、モニタ光として連続波レーザ (Continuous Wave Laser、以下「CWレーザ」という。) 光、具体的には約 633nm の波長を有するヘリウムネオン (He-Ne) レーザ光を用い、レーザ光を薄膜に照射し、薄膜からの反射光を 1 ナノ秒 (以下「ns」という。) の応答時間を有するシリコン PN 接合フォトダイオード型光検出器で検出し、検出された信号波形の時間的変化を 1 GHz の周波数信号をサンプルするサンプリングオシロスコープで計測する。

【0007】

50

上記文献において、薄膜溶融用のアニール用レーザ光としてパルス波レーザ光、具体的に約25 nsのパルス幅（半値全幅（full width at half maximum、以下「FWHM」という。）での値）及び約248 nmの波長を有する紫外線領域のクリプトンフッ素（KrF）エキシマレーザを用いている。また、レーザフルエンスは500 mJ/cm²程度にされている。

【0008】

上記文献の他に、薄膜溶融用のアニール用レーザ光として、約25 nsのパルス幅及び約308 nmの波長を有し、また1パルス当たり約1 Jのエネルギーを有するキセノン塩素（XeCl）エキシマレーザを帯状の長尺ビーム（350 mm×1 mm=3.5 cm²）に整形した整形レーザを用い、該整形レーザを直線走査させて、約300 mJ/cm²のフルエンスで大面積基板を照射する結晶化方法もある。 10

【0009】

数十nm程度の膜厚を有する脱水素処理化非晶質シリコン薄膜はアニール用レーザ光の数十～100 ns程度の時間の照射により溶融され、薄膜の結晶化又は結晶粒成長が生じる。シリコンは溶融されると金属的性質を帯びて光反射性を増し、シリコン薄膜の光反射強度が増す。上記文献に示す、結晶化を調べる方法は、薄膜の溶融に伴う光反射強度の時間的変化を前記光検出器で検出している。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

従来の、結晶化を調べる方法では、アニール用レーザ光による溶融に係る領域の箇所（実質的に1箇所）にモニタ光を照射し、箇所からの反射光のみを検出する。 20

【0011】

薄膜の結晶化、すなわち結晶粒の成長の速度や方向及び粒径は、アニール用レーザ光照射領域内で実際には均一ではない。アニール用レーザ光のエネルギーは、薄膜パターン形状、薄膜間のパターンの相違及びプリカーサの非晶質シリコン（以下「a-Si」という。）薄膜の膜厚偏差の相違等に影響されて、予め意図したようには薄膜内を伝搬されない。このため、結晶粒が薄膜内で予期したようには成長されず、アニール用レーザ光照射領域内での薄膜の結晶化にばらつきが生じていた。

【0012】

意図的に、基板面方向すなわち横方向（ラテラル方向）への薄膜の結晶成長を促進させるべく、アニール用レーザ光照射領域内のレーザエネルギー分布を一様でなくすることや該レーザの照射パターンを非対称なパターンにする場合がある。この場合においても、アニール用レーザ光のエネルギーが、前記した薄膜パターン形状及びその他に影響されて、予め意図したようには薄膜内を伝搬されない。このため、結晶粒が薄膜内で予期したようには均一に成長されなかった。 30

【0013】

アニール用レーザ光照射領域内での薄膜の結晶化のばらつきのために、アニール用レーザ光照射領域すなわち薄膜の溶融領域のどの箇所にモニタ光を照射してその反射光を検出するか否かによって薄膜の結晶化を調べた結果に相違が生じる。

【0014】

このような誤った結晶化の計測結果に基づいてレーザアニール処理をされた薄膜を有する薄膜トランジスタは所定の範囲外の特性を有することになり、この薄膜トランジスタをスイッチング素子として用いた液晶表示装置に例えば電気的特性の不良が生じていた。 40

【0015】

このように、従来は、アニール用エネルギー線（例えば、レーザ光）による薄膜の溶融に係る領域の実質的に1点の箇所にモニタ光を照射してその反射光から得られる情報、すなわち1つの情報を基にして薄膜の結晶化をホットダイオードで検出するものであった。

【0016】

本発明の目的は、エネルギー線の照射領域において、溶融から固化及び結晶化へと変化する位置をモニタリングすることができる、薄膜の結晶化状態を高時間分解能リアルタイム 50

で正確に監視することにある。

【0017】

【課題を解決する解決手段、作用及び効果】

本発明に係る結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法は、薄膜の結晶化及び結晶化促進の少なくとも一方のためにエネルギー線照射を行うアニール処理における、結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法であって、前記エネルギー線照射の前、間及び後の少なくとも間又は後に、前記薄膜の結晶化状態を監視するためのモニタ光を前記薄膜の表面及び裏面の少なくとも一方の面の所定の面積を有する領域の少なくとも複数の監視用の箇所直接又は前記基板を通して同時に照射するモニタ光照射ステップと、前記モニタ光の前記薄膜の前記表面又は前記裏面からの反射光及び透過光の少なくとも一方の光の強度の時間的変化を前記監視用箇所の位置に関係づけた光強度分布として計測する計測ステップとを具備することを特徴とする。

10

【0018】

本発明に係る他の結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法は、薄膜の結晶化又は結晶化促進のためにエネルギー線照射を行うアニール処理における、結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法であって、前記エネルギー線照射の前、間及び後の少なくとも間又は後に、前記薄膜の結晶化状態を監視するためのモニタ光を前記薄膜の所定の面積を有する領域の複数の監視用の箇所と同時に照射するモニタ光照射ステップと、前記モニタ光の前記薄膜からの反射光又は透過光の強度の時間的変化を前記監視用箇所の位置に関係づけた光強度分布として計測する計測ステップとを具備し、前記計測ステップは、前記薄膜からの反射光及び透過光の少なくとも一方の光を受けて該受けた光に対応する電子を光電変換により発生すること、発生した電子を時間的に変化する電界中を通過させること、通過した電子を受けて該通過電子に対応する投影像を表示面に形成させること、及び、前記投影像の強度分布の時間的変化を計測することを備えることを特徴とする。

20

【0019】

モニタ光は少なくとも各監視用箇所に同時に照射され、各監視用箇所からの光の強度の時間的変化を各監視用箇所の位置に関係づけられた光強度分布が計測される。アニール用エネルギー線照射領域内での薄膜の結晶化にばらつきが生じて、各監視用箇所からの光に基づいて、時間的変化を含み各監視用箇所の位置に関係づけられた光強度分布を計測することにより、薄膜の結晶化のばらつきを確認することができ、薄膜の結晶化状態を正確に監視することができる。

30

【0020】

本発明によれば、被アニール薄膜が例えば非晶質シリコン薄膜であるとき、シリコンが溶融して固化及び結晶化するまでの溶融結晶化時間と結晶成長（例えばラテラル成長）の速度（監視用箇所の位置における情報）とが併せて計測される。換言すれば、シリコンの溶融結晶化時の固相と液相との界面（固液界面）の位置及び移動速度を知ることができる。シリコン薄膜の結晶化状態を正確に監視することができるので、エネルギー線照射のための条件、例えば、薄膜の溶融から固化への変化の最適温度勾配及びエネルギー線（例えばエキシマレーザ光）の最適強度分布を求めること（最適条件だし）ができ、生産ラインにおける生産管理が容易になる。

40

【0021】

また、本発明によれば、シリコン薄膜の結晶化状態を正確に監視することができるので、本発明による結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法及び装置を、薄膜として欠陥の少ない高品質な結晶化シリコン薄膜の開発に有効に利用することができる。

【0022】

また、本発明によれば、表示面に形成された時間的変化を含み各監視用箇所の位置に関係づけられた光強度分布を、投影像の強度分布の時間的変化から計測することができる。さらに、計測ステップにおける電界の時間的変化の割合を、薄膜の結晶化又は結晶化促進における溶融から固化への変化の速さに対応して決めることにより、エネルギー線照射領域における薄膜の溶融前から溶融、固化及び結晶化に至る膜質の変化を、高時間分解能リア

50

ルタイムで極めて正確に監視することができる。

【0023】

本発明によれば、位相シフタを用いてエネルギー線照射を行えば、結晶成長の核形成のために位相シフタを用いて行うエネルギー線照射の前及びその間、及び、ラテラル結晶成長のために位相シフタを用いて行うエネルギー線照射の前及びその間にモニタ光を照射することにより、位相シフタを通したエネルギー線の薄膜への照射によって生じる結晶成長の起点となる核形成及び薄膜のラテラル結晶成長の過程の間及びその前後にわたって結晶化状態を監視することができる。このようなモニタリングの結果を基に、薄膜のラテラル結晶成長のためのエネルギー線照射の適正な条件を求めることができる。したがって、大きな結晶粒を形成することができる。例えば、薄膜トランジスタの製造においては、活性層すなわちチャネル領域を1つの結晶粒とすることができる。換言すれば、チャネル領域を実質的に単結晶で形成することができる。

10

【0024】

前記モニタ光照射ステップにおけるモニタ光照射は、前記モニタ光が前記複数の監視用の箇所と同時に照射されるように前記モニタ光を前記薄膜のスリット状の照射領域に照射することができる。これにより、薄膜のラテラル成長の過程を効率よく正確に監視することができる。

【0025】

前記エネルギー線照射は、パルス光による照射とすることができる。

【0026】

前記計測ステップにおいて前記薄膜からの前記モニタ光の反射光又は透過光をストリークカメラで検出することができる。これにより、薄膜の熔融前、熔融から固化及び結晶化への膜質の変化の速度、及び熔融領域と非熔融領域とに係る位置情報（すなわち、固液界面の位置）が高時間分解能で得られ、薄膜のラテラル成長を正確に監視することができる。

20

【0027】

前記モニタ光を該モニタ光の断面が前記薄膜上で前記監視用箇所を含むように整形して照射すること、及び、前記薄膜からの反射光及び透過光の少なくとも一方の光を帯状に整形して光電変換器の受光部に入射させるようにしてもよい。そのようにすれば、監視用箇所からの光は、光電変換部の受光部に帯状に入射される。

【0028】

これの代わりに、複数の前記モニタ光を前記複数の監視用箇所に同時に照射し、前記薄膜の前記表面又は前記裏面からの反射光及び透過光の少なくとも一方の複数の光を該複数の光が一行に並ぶように光電変換器に入射させるようにしてもよい。

30

【0029】

さらに、同一の対物レンズにより前記モニタ光を前記薄膜に結像させると共に前記薄膜からの反射光を前記光電変換器の受光部に結像させ、前記対物レンズを経た前記反射光及び前記透過光の少なくとも一方の光を前記モニタ光から光路分離させるようにしてもよい。そのようにすれば、モニタ光の薄膜への入射及び薄膜からの反射の各光の結像を単一の対物レンズで行うことができる。また、モニタ光の波長及びアニール用レーザ光の波長の両波長で使用することが可能なレンズをアニール用レーザ光用の対物レンズとして用い、該対物レンズをモニタ光用の対物レンズとして共用してもよい。

40

【0030】

前記薄膜は、シリコンを主成分とする薄膜、水素化アモルファスシリコン薄膜、スパッタシリコン薄膜、シリコンゲルマニウム薄膜、及び脱水素処理したアモルファスシリコン薄膜の少なくとも1つからなるとすることができる。

【0031】

前記モニタ光の前記薄膜への入射角度は、前記アニール処理の前及び後の少なくとも一方における前記薄膜のP偏光の反射強度が最小になる角度と同一であり、前記モニタ光の前記薄膜への入射光ビームはS偏光及びP偏光のいずれかとするすることができる。P偏光の反射強度が最小となる角度でP偏光の反射光を測定することで、ランダム偏光を使用する場

50

合と比べて、効果的な測定をすることができる。

【0032】

さらに、前記モニタ光の強度分布を均一化させてもよい。例えば、ホモジナイザ等の適当なレンズ光学装置を用いることができる。また、前記モニタ光はレーザ光としてもよい。

【0033】

【発明の実施の形態】

図1を参照するに、エネルギー線としてパルスレーザ光を用いたアニール装置10は、アニール用レーザ光源装置12と、被アニール薄膜14を有する基板16を取り外し可能に取り付ける試料台18を二次元的に移動させる図示しないXYステージ駆動機構とを備えている。図示の例では、試料台18は、その一部のみが示されている。

10

【0034】

アニール用レーザ光源装置12に用いるアニール用レーザ光源として、例えば、ルビーレーザ、イットリウム・アルミニウム・ガーネット（以下「YAG」という。）レーザ、エキシマレーザ等を用いることができる。

【0035】

アニール用レーザ光源装置12は、パルス発振レーザ光源装置であり、被照射薄膜を溶融するために必要な予め定められたエネルギー光を出力する。アニール用レーザ光源装置12は、通常、1パルス当たり約1Jのエネルギーを有するレーザを、パルス時間20～100ナノ秒（以下「ns」という。）で発生する。図示の例では、アニール用レーザ光源としてクリプトンフッ素（以下「KrF」という。）レーザを用い、例えば、1秒間に1000回の割合で約25nsのパルス幅を有するレーザ光を発生する。

20

【0036】

アニール用レーザ光源装置12は、アニール用レーザ光20の被アニール薄膜14への照射面積として、例えば、平面的に並べられた複数の被アニール薄膜を照射するように、5mmφの照射面積を選択することができる。また、アニール用レーザ光20の被アニール薄膜14への照射時間として、例えば、25nsの照射時間を選択することができる。

【0037】

図示していないが、アニール用レーザ光源装置12は、レーザ発振させる共振器と、発振したレーザ光源を照射に適したビーム形状に整形するレンズ系とを含む。

【0038】

被アニール薄膜14として、例えば、シリコンを主成分とする薄膜、水素化アモルファスシリコン薄膜、スパッタシリコン薄膜、シリコンゲルマニウム薄膜、及び脱水素処理したアモルファスシリコン薄膜等の、成膜化された非晶質（以下「アモルファス」という。）半導体薄膜を用いることができる。図示の例では、成膜された非晶質シリコン薄膜を用いている。非晶質シリコンとして、通常、脱水素処理された非晶質シリコンを用いることができる。これらの薄膜は、膜質に依存する膜の導電率により異なる光反射特性又は光透過特性を有するが、薄膜の溶融、固化及び結晶化への変化時に示す光学的特性のパターンは同様である。

30

【0039】

基板16として、透明のガラス基板やプラスチック基板又はシリコン基板等を用いることができる。図示の例では、透明のガラス基板を用いている。

40

【0040】

非晶質シリコン薄膜14を有するガラス基板16は、試料台18に取り外し可能に取り付けられ、所定の位置に位置決めされている。図示の例では、非晶質シリコン薄膜14及びガラス基板16は、それらの一部のみが示されている。

【0041】

アニール装置10は、さらに、図示の例では、位相シフタ22を用いることができるように、該位相シフタを支持する図示しない位相シフタ支持体を備えている。位相シフタ22は、該位相シフタを経る光の位相を選択的にシフトさせるシフタ部を有している。シフタ部を有する位相シフタ22は、入射したレーザビーム光へのフィルタ作用に光損失（例え

50

ば光量損失)がなく、また、シフト部に入射した光についてその強度を最小にし逆ピークパターンの光強度分布を有する光として透過する。アニール用レーザー光20は、位相シフト22を経て非晶質シリコン薄膜14に照射の強弱分布が形成されるように照射される。位相シフトについては、後に詳述する。

【0042】

非晶質シリコン薄膜14への照射の強弱分布により該薄膜内へのレーザー光20のエネルギー配分に相違が生じ、薄膜の結晶化や結晶化促進が効率的に行われる。図示の例では、位相シフト22を経たレーザー光20による大きな照射強度を有する領域e1、e2が生じている。領域e1、e2内において、生じた結晶粒は、例えば、非晶質シリコン薄膜14のe2→e1への方向すなわち基板面に平行な矢印24の方向へ成長する。

10

【0043】

結晶化状態のin-situモニタリング装置26は、モニタ用光源装置28と、整形光学装置30と、ホモジナイザ32と、結像用の対物レンズ34と、反射鏡36と、計測器38とを備える。「in-situモニタリング」とは、後述するように、薄膜の溶融から固化及び結晶化への過程において膜質に関係する情報を監視することである。

【0044】

モニタ用光源装置28に用いるモニタ用レーザー光源として、例えば、Arレーザー、ヘリウムネオン(以下「He-Ne」という。)レーザー及びYAGレーザー等を用いることができる。これらの光源は、光電変換における光電面の波長感帯の範囲にあるレーザー光を生じさせることができる。

20

【0045】

モニタ用光源装置28は、連続波レーザー(Continuous Wave Laser、以下「CWレーザー」という。)光源装置であり、例えば、10mWのパワー及び約5mmφのビーム径を有するレーザーを発生する。モニタ用光源装置28から基板に照射するレーザー光のビーム径は、アニール用レーザー光20のビーム径と等しいか、又はより小さいことが望ましい。図示の例では、モニタ用レーザー光源として約532nmの波長を有するYAGレーザーを用いている。

【0046】

モニタ用光源装置28は、アニール用レーザー光源装置12に接続された図示しない時間調整装置に接続されている。時間調整装置は、アニール用レーザー光の発生開始時間に対して予め選択的に決められたモニタ光の発生開始時間が設定されており、モニタ光の発生開始のための信号をモニタ用光源装置28に送る。図示の例においては、アニール用レーザー光の発生開始と同時にモニタ光の発生を開始させる信号が時間調整装置からモニタ用光源装置28に送られる。

30

【0047】

整形光学装置30は、モニタ用光源装置28より発するレーザー光の断面形状を所定の形状に整形するための光学装置であり、モニタ光整形器として作用する。図示の例では、整形光学装置30は、モニタ用光源装置28より発するレーザー光を、該光の断面に関して短辺と該短辺に比べて極めて長い長辺とを有する矩形の断面形状に整形する。

【0048】

ホモジナイザ32は、整形光学装置30を経たレーザー光を、光の断面において均一の光強度分布を有するレーザー光に変換する。例えば、YAGレーザー光の断面における光強度分布は、ガウス分布に従う光強度分布であり、均一の強度分布ではない。YAGレーザー光は、ホモジナイザ32を経ることにより、光の断面において均一の光強度分布を有するレーザー光に変換される。

40

【0049】

結像用の対物レンズ34は、整形光学装置30及びホモジナイザ32を経た均一の光強度分布の矩形断面を有する板状のモニタ用レーザー光40を、該光の断面に関して短辺と長辺との特定の比率を有する矩形断面形状のモニタ光として、非晶質シリコン薄膜14に結像させる。

50

【0050】

図示の例では、モニタ用レーザ光40は、ガラス基板16を通して非晶質シリコン薄膜14のガラス基板16側に位置する裏面に照射され、非晶質シリコン薄膜14の裏面に、 $60\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ の寸法の帯状断面を有するモニタ光として結像される。

【0051】

モニタ用レーザ光40は、該光の帯状断面の長手方向が、位相シフタ22によりもたらされたアニール用レーザ光照射強度大の領域e1及びe2の長手方向と直角になるように、非晶質シリコン薄膜14の裏面に照射及び結像される。非晶質シリコン薄膜14の裏面にモニタ用レーザ光40の照射領域Aが形成される。

【0052】

モニタ用レーザ光40の照射領域Aは、予め位置を決められた監視（モニタ）用の箇所a1、a2及びa3を含む複数の監視用の箇所を連続させた領域として形成されている。

【0053】

非晶質シリコン薄膜14に照射されたモニタ用レーザ光40の少なくとも一部は、反射光42として再び非晶質シリコン薄膜14の裏面から発する。モニタ用レーザ光40の反射光42の強度は、非晶質シリコン薄膜14への入射角度と、非晶質シリコン薄膜14の屈折率や減衰係数によって算出されるフレネル係数と、非晶質シリコン薄膜14内の干渉現象とに依存する。

【0054】

対物レンズ34は、さらに、モニタ用レーザ光40の非晶質シリコン薄膜14の裏面の領域Aへの照射による非晶質シリコン薄膜14からの反射光42を受ける。反射鏡36は、反射面の向きを変えることができる可動ミラーであり、対物レンズ34を経た反射光42を反射面に受け、反射光42の進行方向を変える。

【0055】

計測器38は、反射鏡36を経た反射光42を受け、受けた光を光電面に入射させて、光電子を放出させることにより光電変換し、光電変換された光電子を、時間的に変化する電界中を通過させ、通過された電子を表示面、例えば蛍光体に到達させてモニタ信号として表示させる。すなわち、光電子の電子強度すなわち電子数に対応する投影像Pを表示面（図示の例では、蛍光体）に形成し、投影像Pの強度分布の時間的変化を計測して、表示部44に表示させる。電界の時間的変化の割合は、薄膜の溶融から固化への変化の速さに対応して決められている。例えば、 10ns の間に薄膜が溶融から固化及び結晶化へと変化するのであれば、 10ns 間の膜質変化に対応する投影像Pの強度分布の時間的変化を計測することができるように決めればよい。

【0056】

モニタ用レーザ光40の照射領域A内の、監視用の箇所a1、a2及びa3を含むすべての箇所の各々からの反射光の強度の時間的変化は、それらの箇所に関係づけられた反射光42の光強度分布として観測又は計測することができる。

【0057】

図示の例では、反射光42の全測定時間Tにおいて測定時刻tと監視用の箇所の帯状断面内での長手方向の位置Xとの関係を表示部44に投影像Pの強度に関してグラフで表示させている。図1においては、理解を容易にするために、全測定時間Tを 60ns とし、 10ns 毎の時刻t1、t2、t3、…、t6における反射光42の強度を表示した場合で示している。全測定時間T及び時刻t1、t2、…はこれに限定されない。

【0058】

また、上記のグラフにおいて、理解を容易にするために、被アニール薄膜が溶融して反射光強度が大きいときを実線、固化して反射強度が小さいときを点線で示している。すなわち、実線部は被アニール薄膜が溶融している液相状態にあることを示し、実線部の長さMは各時刻t1、t2、t3、…、t6における被アニール薄膜の溶融幅を示している。溶融幅Mの時間的な変化が表示部44に表示されている。

【0059】

10

20

30

40

50

溶融幅 M の時間的な変化が表示部 4 4 に表示され、溶融幅 M の時間的な変化が平面に二次元的に同時に観測される。すなわち、照射領域 A 内のすべての監視用の箇所の溶融に関する時間的な変化が平面に二次元的に同時に観測される。

【0060】

計測器 3 8 として、例えば、光学像を電子線像に変換し、再度光学像に変換するストリークカメラを用いた装置とすることができる。図 2 を参照するに、ストリークカメラ 4 6 は、スリット板 4 8 と、レンズ群 5 0 と、光電変換器 5 2 と、電界発生器 5 4 と、蛍光板 5 6 と、像計測器 5 8 とを備える。

【0061】

スリット板 4 8 は、反射光 4 2 を受けて反射光 4 2 の通過を帯状に規制するスリット 6 0 を有する。レンズ群 5 0 は、スリット 6 0 を経た光を受け、受けた光を光電変換器 5 2 にスリット像 P S として結像させる。

【0062】

光電変換器 5 2 は、レンズ群 5 0 を経た光を受け、受けた光に対応する光電子を放出させて、光電変換信号を発生させる。

【0063】

ストリークカメラは、光電子を時間的に変化する信号として取り出すために、例えば、電界発生器 5 4 を備えている。電界発生器 5 4 は、光電変換器 5 2 で発生された電子を時間的に変化する電界に通過させる。静電偏向器である電界発生器 5 4 は、光電変換された光電子を蛍光板 5 6 に迅速かつ効率的に結像させるために、電子を加速させる加速電極 6 2 と、加速電極 6 2 からの電子 E の進行方向を、トリガ信号 S に応じて作動する掃引回路 6 4 によって変化させる掃引電極 6 6 と、掃引電極 6 6 を経た電子を像倍させる電子増倍器 6 8 とを備える。

【0064】

電子増倍器 6 8 には実質的に電子の像 P E が形成され、蛍光板 5 6 は、電子増倍器 6 8 を経た電子を受けて該電子に対応する投影像 P を形成する。

【0065】

像計測器 5 8 は、蛍光板 5 6 に形成された投影像 P の強度分布を時刻 t 1、t 2、t 3、…のデータを抽出し、アナログ的に計測された各時間の投影像 P の強度分布を画像処理して時系列的に表示部 4 4 に表示させる。

【0066】

ストリークカメラ 4 6 は、モニタ用レーザ光 4 0 を光電子に光電変換させ、光電変換された電子を、レーザ光 4 0 の帯状断面の長手方向と直交する方向に走査させる。蛍光板 5 6 に投影された投影像 P は二次元情報として扱うことができるので、例えば、投影像を CCD カメラで撮影してデジタル情報に変換すれば、そのデジタル情報を、デジタル記憶装置に記憶したり、コンピュータに処理することができる。デジタル情報を適宜に表示させることもできる。

【0067】

図示の例では、さらに、反射光 4 2 のストリークカメラ 4 6 による測定の開始時間を決定するために、図示しない光検出装置と、図示しないディレイ装置とが配置されている。光検出装置は、アニール用レーザ光の経路の一部に配置された図示しない減衰フィルタを通して高速フォトダイオードでレーザ光を検出する。ディレイ装置は、検出時間を基準にして予め選択的に決められた遅延時間の経過後に反射光 4 2 のストリークカメラ 4 6 による測定開始のためのトリガ信号を出力する。さらに、非晶質シリコン薄膜 1 4 の、レーザ光の照射により溶融している部分について該部分の温度をカラー表示することができる。例えば、600℃は緑色、700℃は黄色、800℃は赤色と表示することができる。

【0068】

次に、図 1 を参照して、結晶化状態の *in-situ* モニタリング装置 2 6 を用いる薄膜の結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法について説明する。

【0069】

10

20

30

40

50

まず、非晶質シリコン薄膜 14 を有する透明のガラス基板 16 を試料台 18 の所定の位置に取り付け、試料台 18 を X Y ステージ駆動機構で所定の位置に移動させる。

【0070】

次に、アニール用レーザ光源装置 12 より所定のパワー密度に設定された KrF レーザ光を 1 秒間に 100 回の割合で約 25 ns のパルス幅で発生し、該レーザ光を位相シフタ 22 を経て非晶質シリコン薄膜 14 の表面に、25 ns の時間だけ照射する。

【0071】

アニール用の KrF レーザ光の発生開始と同時に、モニタ用の YAG レーザ光の発生を開始させる信号が時間調整装置からモニタ用光源装置 28 に送られ、モニタ用光源装置 28 は、所定のパワー密度で約 532 nm の YAG レーザ光を発する。

10

【0072】

発せられた YAG レーザ光は、整形光学装置 30、ホモジナイザ 32 及び対物レンズ 34 を経て、ガラス基板 16 を通して非晶質シリコン薄膜 14 の裏面に $60\ \mu\text{m} \times 1\ \mu\text{m}$ の寸法の帯状断面を有するモニタ用レーザ光 40 として結像される。

【0073】

非晶質シリコン薄膜 14 からの反射光 42 は、対物レンズ 34 及び反射鏡 36 を経て計測器 38 に入射され、反射光 42 の時間的変化を含む強度分布に対応する、投影像の強度分布の時間的変化が表示部 44 に表示される。すなわち、結晶化状態は、監視用箇所的位置に関係づけた光強度分布として計測し、表示される。

20

【0074】

以上に説明した結晶化状態の *in-situ* モニタリング装置及び方法において、モニタ光の被アニール薄膜への入射角度を、アニール処理の前及び後の少なくとも一方における被アニール薄膜の P 偏光の反射強度が最小になる角度すなわちブリュースター角度に設定してもよい。この場合に、ブリュースター角は、被アニール薄膜の光学定数及び膜厚、下地基板の光学定数及び厚さ、並びに被アニール薄膜内での干渉作用によって決定される。また、モニタ光の被アニール薄膜への入射光は S 偏光及び P 偏光のいずれかとしてもよい。P 偏光の反射強度の最小値は S 偏光の反射強度の最小値より小さく、P 偏光の反射強度の最大値と S 偏光の反射強度の最大値とはほぼ等しい。P 偏光の反射強度を計測すれば、反射強度について最小値と最大値とで大きな変化が得られるため、計測における S/N 比向上の点で有利である。

30

【0075】

以上に説明した結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法及び装置、並びにアニール方法及び装置は、以下のように変更することができる。

【0076】

アニール方法及び装置は、アニール処理時に位相シフタを用いているが、アニール処理時に位相シフタを用いないアニール方法及び装置であってもよい。

【0077】

結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法及び装置において、モニタ光をアニール用エネルギー線の被アニール薄膜への照射側とは異なる側すなわち被アニール薄膜の裏面に照射する代わりに、モニタ光をアニール用エネルギー線の被アニール薄膜への照射側と同じ側すなわち被アニール薄膜の表面に照射するようにしてもよいし、表裏両面に照射するようにしてもよい。

40

【0078】

結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法及び装置において、モニタ用光源装置からのモニタ光を受ける対物レンズとモニタ光の被アニール薄膜からの反射光を受ける対物レンズとを同一のレンズとする代わりに、図 3 に示すように、モニタ用光源装置からのモニタ光を受ける対物レンズとモニタ光の被アニール薄膜からの反射光を受ける対物レンズとを別のレンズ（例えば 2 つのレンズ 34a、34b）にしてもよい。図 3 に示すアニール装置 10 は、図 1 に示すアニール装置 10 と同じである。図 1 と同一部分には同一符号を付与し、その詳細な説明は重複するので省略する。結晶化状態の *in-situ* モニタリ

50

ング装置 70 は、図 1 に示す結晶化状態の *i n - s i t u* モニタリング装置 26 と同一部分には同一符号を付与し、その詳細な説明は重複するので省略する。

【0079】

結晶化状態の *i n - s i t u* モニタリング方法及び装置において、モニタ光の被アニール薄膜からの反射光を用いて被アニール薄膜の結晶化状態を監視する代わりに、モニタ光の被アニール薄膜からの透過光を用いて被アニール薄膜の結晶化状態を監視してもよいし、モニタ光の被アニール薄膜からの反射光より小さな強度を有する、被アニール薄膜内で散乱されて該薄膜の外に出る光を用いて被アニール薄膜の結晶化状態を監視してもよい。

【0080】

結晶化状態の *i n - s i t u* モニタリング方法及び装置において、モニタ光の被アニール薄膜からの反射光が比較的大きな強度を有する場合、減衰フィルタをストリークカメラの前方に配置してもよい。

10

【0081】

結晶化状態の *i n - s i t u* モニタリング方法及び装置において、前記した帯状のモニタ光に加え、該モニタ光の帯状断面の長手方向と直角の方向に異なる波長を有する第 2 のモニタ光を被アニール薄膜に照射し、分光器を介してストリークカメラを用いて他の方向の結晶成長すなわち溶融領域を測定してもよい。

【0082】

例えば、図 4 に示すように、第 1 のモニタ光による被アニール薄膜からの反射光又は透過光の測定時刻 t と監視用箇所 20 の帯状断面内での長手方向の位置 X との関係の測定に加え、第 2 のモニタ光によって被アニール薄膜からの反射光又は透過光の測定時刻 t と各監視用箇所での反射光強度 I の実時間での変化の推移を計測すれば、モニタ光の被アニール薄膜からの反射光又は透過光の光強度の時間的変化を含む光強度分布を三次元情報として得ることができる。この光強度の時間的変化は、パルス幅 25 nsec 間のレーザ光照射による薄膜の溶融-固化の変化を示した特性である。また、この特性は、薄膜の溶融期間（一般に、数十ナノ秒～数百ナノ秒）において計測したものである。すなわち、監視用箇所 20 の位置に関係づけた光強度として計測することができる。さらに、この計測の結果を表示してもよい。

20

【0083】

図 1 に示す例では、モニタ用レーザ光を $60\text{ }\mu\text{m} \times 1\text{ }\mu\text{m}$ の帯状断面を有する光に整形しているが、モニタ用レーザ光の断面形状は断面積及び断面形状においてこれに限定されない。例えば、十分なパワーを有するモニタ光を発する光源装置を用いる場合又は光源装置から発するモニタ光のパワーを十分に確保することができる場合には、モニタ光を帯状又は矩形の断面ではなく例えば大面積の円形又は楕円形の断面を有するモニタ光に整形し、該整形モニタ光を被アニール薄膜に照射し、該薄膜からの反射光又は透過光を光電変換器の前側で帯状に集光及び結像させて整形するようにしてもよい。

30

【0084】

図 5 を参照して、大きな粒径を有する結晶粒（単結晶粒）を形成するためのアニール方法及び装置、アニール処理における結晶化状態の *i n - s i t u* モニタリング方法及び装置について説明する。

40

【0085】

図 5 においては、アニール装置 72 は、図 1 に示すアニール装置 10 と同様の構造を有している。図 1 と同一部分には同一符号を付与し、その詳細な説明は重複するので省略する。

【0086】

アニール装置 72 は、さらに、図示の例では、位相シフタ 74 を用いることができるように、位相シフタ 74 を支持する図示しない位相シフタ支持体を備えている。位相シフタ 74 は、位相シフタ 74 を経る光の位相を選択的にシフトさせるシフタ部、図示の例では、段差部 76 を有している。アニール用レーザ光 20 は、位相シフタ 74 を経て非晶質シリコン薄膜 14 に照射の強弱分布が形成されるように照射される。

50

【0087】

前記した位相シフタについて説明する。位相シフタは、透明媒質例えば石英基材に厚さの段差を形成し、この段差の境界で入射するレーザ光線を回折と干渉させて、入射したレーザ光の強度に周期的な空間分布を付与するものである。図6は、位相シフタによるレーザ光強度の変化を示す図である。図6に示す例においては、レーザ光線20について、位相シフタ74のシフト部を形成する段差部76の位置を $X=0$ とし、これを境界として左右で180度の位相差を付けた場合が示されている。即ち、位相シフタ74の厚い部分を通じたレーザ光線は、薄い部分（厚さ t ）を通じたレーザ光線に比較して遅れる。これらレーザ光線間の相互干渉と回折の結果、図6に示すような通過レーザ光線強度分布が得られる。一般に、レーザ光の波長を λ とすると、屈折率 n の透明媒質に180度の位相差を付けるための透明媒質の膜厚 t は、以下の式で表される。

【0088】

【数1】

$$t = \lambda / 2 (n - 1) \cdots \text{式 (1)}$$

【0089】

例えば、KrFエキシマレーザの波長が248nmで、石英基材の248nm光での屈折率が1.508とすると、180度の位相差を付けるための段差は244nmであり、石英基材に予め定められた位置に244nmの段差を付ければよい。石英基材に段差を付けるための手段は、例えば気相又は液相による選択エッチングすることにより形成することができる。石英基材に段差を付けるための他の手段は、光透過膜例えばSiO₂をプラズマCVD、減圧CVDなどにより選択的に成膜してもよい。

【0090】

位相シフタ74に入射したレーザ光の一部は、段差部76での位相差による干渉によって光透過量が最小 N になり、光強度が急峻に降下する光強度分布の光として透過する。この最小透過光を示す光強度分布を逆ピークパターン P と呼ぶ。逆ピークパターン P の特徴は、入射光線20がフィルタ的減衰を示さないことである。この特徴は、薄膜のより大きな単結晶化を発生する。このような逆ピークパターン P の光強度分布を有するレーザ光が非晶質シリコン層に入射し、非晶質シリコン層の一部を高温にさせ、周囲の低温のシリコンの一部が結晶の核になって、位相差を形成する段差に垂直な方向すなわち横方向に結晶成長が生じ、大きな結晶粒が形成される。前記逆ピークパターン P は、ほぼ楔状（例えば、U状又V状）である。

【0091】

非晶質シリコン薄膜14は、アニール用レーザ光を照射する前は、非熔融状態にある。モニタ光を照射して結晶化状態を監視すると、計測器38の表示部44に、図8(a)に示すように表示される。

【0092】

アニール用レーザ光源装置12より所定のパワー密度に設定されたKrFレーザ光を所定のパルス幅で発生し、該レーザ光を位相シフタ74を経て非晶質シリコン薄膜14の表面に照射し、レーザ光照射を行う。これにより、メルティングポイント以上のレーザ光照射領域で非晶質シリコン薄膜14の熔融が始まる。図7の逆ピークパターンのレーザ光強度がすべて融点以上の値をとる場合には、全体的に熔融状態になる。この熔融状態は、モニタ光により、計測器38の表示部44に、図8(b)のように表示される。

【0093】

図7を参照して結晶核の生成過程を説明する。段差部76及びそのごく近傍を通ったレーザ光の強度は、位相シフタ74の他の部分を通ったレーザ光線20の強度に比べて小さい。したがって、段差部76及びそのごく近傍を通ったレーザ光線20が照射された非晶質シリコン薄膜14の領域Sでの光強度分布は次のようになっている。領域78の温度は、逆ピークパターンの最小 N の照射領域で非晶質シリコン薄膜14の他の領域80の温度と比べて低温であり、また、最小値の前記薄膜14の融点以下の温度である。他の領域80の温度は、前記薄膜14の融点以上の温度である。このため、領域78内のシリコンの固

化が他の領域 80 内のシリコンの固化より先に始まり（図 8（c））、その後、他の領域 80 内のシリコンが固化し、ラテラル方向の結晶成長の起点となる核 82 が形成され、ラテラル方向に結晶成長が始まる（図 8（d））。ここで、核 82 は、図 7 に示すように、非晶質シリコン薄膜 14 の領域 78 内に形成されている。図 6 と同一部分には、同一符号を付与し、その詳細な説明を省略する。

【0094】

次に、結晶化の過程をより詳細に説明する。アニール用レーザ光源装置 12 より所定のパワー密度に設定された KrF レーザ光を 1 秒間に 300 回の割合で約 24 ns のパルス幅で発生し、該レーザ光を位相シフタ 74 を経て非晶質シリコン薄膜 14 の表面に、25 ns の時間だけ照射する。このレーザ光照射強度パターンの条件は、非晶質シリコン薄膜 14 の領域 78 内のシリコンの核 82 が溶融する時間が最短時間あるいは溶融しない程度であるように選択される。

10

【0095】

段差部 76 及びそのごく近傍を通ったレーザ光の強度は、位相シフタ 74 の他の部分を通ったレーザ光の強度に比べて小さい最小光強度である。。段差部 76 及びそのごく近傍を通ったレーザ光が照射された非晶質シリコン薄膜 14 の領域 78 の温度は、領域 78 内のシリコンの核 82 が溶融しないもしくは最短時間であるように、非晶質シリコン薄膜 14 の他の領域 80 の温度と比べて低い。したがって、非晶質シリコン薄膜 14 の他の領域 80 内のシリコンの溶融が始まり、溶融領域は、核 82 が形成されている領域 78 の近傍に向かって熱伝導により、広がる。一方、核 82 が形成される領域 78 及びその近傍は非溶融状態もしくはごく短時の溶融にとどまる。計測器 38 の表示部 44 には、図 8（e）～（g）のように、時間経過とともに溶融領域が広がっていく様子が表示される。

20

【0096】

この後、溶融領域の広がりが領域 78 の近傍に達し、溶融から固化への変化、すなわち、結晶化が生じる。核 82 を起点として、該核の外側へ順次、溶融したシリコンの固化及び結晶化が始まる。すなわち、核 82 がラテラル方向（図 5 に示す矢印 24 の方向）の結晶成長の起点となり、また、核 82 を基にラテラル結晶成長が進行し、大きな結晶粒が形成される。計測器 38 の表示部 44 には、図 8（h）～（k）のように表示される。

【0097】

このような、薄膜の溶融前、溶融、固化及び結晶化の過程におけるリアルタイムでの監視の結果を基に、薄膜のラテラル結晶成長のためのエネルギー線照射の適正な条件を求めることができる。したがって、大きな結晶粒を形成することができる。このように、膜厚 50 nm～300 nm 程度のアモルファス Si に数十ナノ秒間のパルス光を照射したときの、固相から溶融－結晶化の変化は、実質的に瞬間的な、数十ナノ秒間での現象である。この現象は数十ナノ秒間での現象であり、この現象を計測する。この計測により最適結晶化のための光強度分布を求め、広い面積に涉って均一な結晶化プロセスを実行することができる。均一な結晶化プロセスは、大画面の液晶表示装置などの表示装置に最適である。すなわち、一画面内のムラ、キズ、シミなどのない表示を可能とし、特にデジタル化に適合して高品質画面を可能にする。さらに、瞬時の計測が可能なことは、図 6、図 7 に示した逆ピークパターン P の広がり幅 W が大きい方が、より大きな結晶化が可能になり、その最適広がり幅 W を求めることができる。さらに、瞬時の計測が可能なことは、逆ピークパターンの先照射により、順次変化する固液界面を表示したり、速度を計測することができる。例えば、薄膜トランジスタの製造においては、活性層すなわちチャネル領域を 1 つの結晶粒とすることができる。換言すれば、チャネル領域を実質的に単結晶で形成することができる。

30

40

【0098】

本発明は、上記実施例に限定されず、その趣旨を逸脱しない限り、種々変更することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る結晶化状態の in-situ モニタリング装置の一実施例を示す斜

50

視図。

【図2】図1に示す結晶化状態の *in-situ* モニタリング装置に用いる計測器の一実施例を示す斜視図。

【図3】本発明に係る結晶化状態の *in-situ* モニタリング装置の他の実施例を示す斜視図。

【図4】本発明に係る結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法の他の実施例を示す図。

【図5】本発明に係る結晶化状態の *in-situ* モニタリング装置の他の実施例を示す斜視図。

【図6】位相シフタによるレーザ光強度の変化を示す図。

10

【図7】位相シフタによるレーザ光強度の変化と結晶成長の核の形成とを示す図。

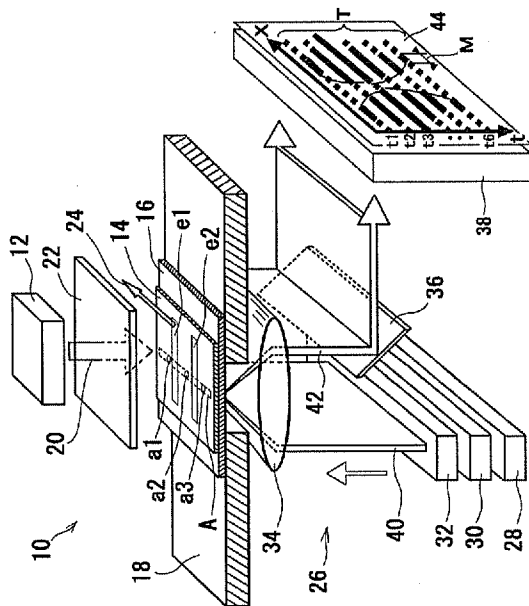
【図8】本発明に係る結晶化状態の *in-situ* モニタリング方法の他の実施例を示し、薄膜の熔融前、核形成、熔融、固化及び結晶化に至る過程のリアルタイムでの監視結果を示す図。

【符号の説明】

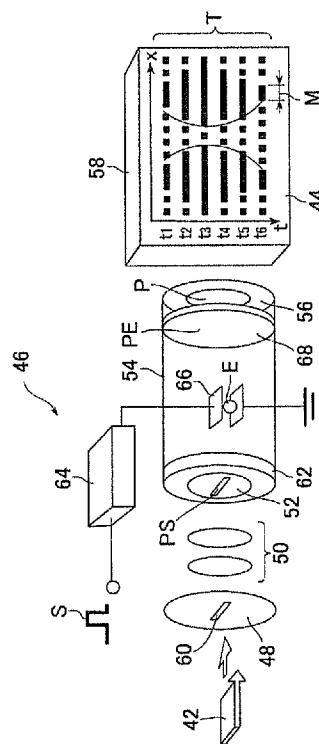
10、72 アニール装置、12 アニール用レーザ光源装置、14 被アニール薄膜、16 基板、18 試料台、20 アニール用レーザ光、22、74 位相シフタ、26、70 結晶化状態の *in-situ* モニタリング装置、28 モニタ用光源装置、30 整形光学装置、32 ホモジナイザ、34 対物レンズ、36 反射鏡、38 計測器、40 モニタ用レーザ光、42 反射光、44 表示部、46 ストリークカメラ、48 スリット板、50 レンズ群、52 光電変換器、54 電界発生器、56 蛍光板、58 像計測器、60 スリット、62 加速電極、64 掃引回路、66 掃引電極、68 電子増倍器、76 段差部、78、80 領域

20

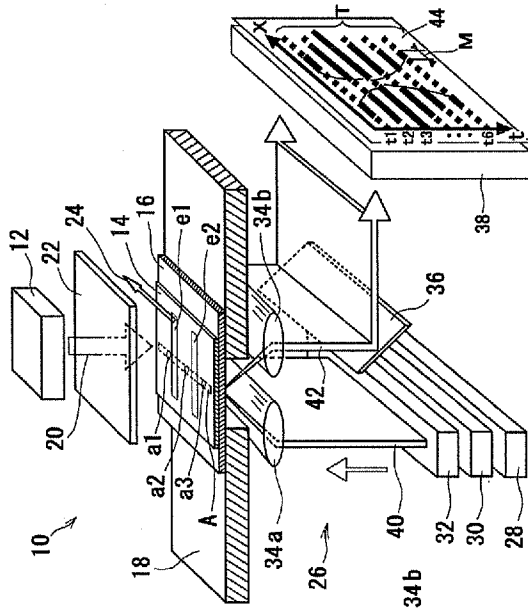
【図1】



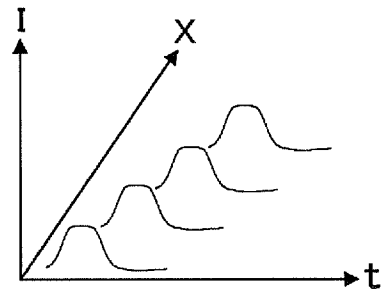
【図2】



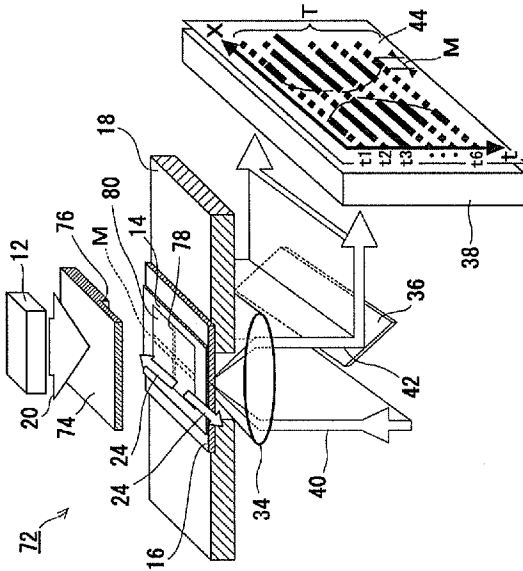
【図 3】



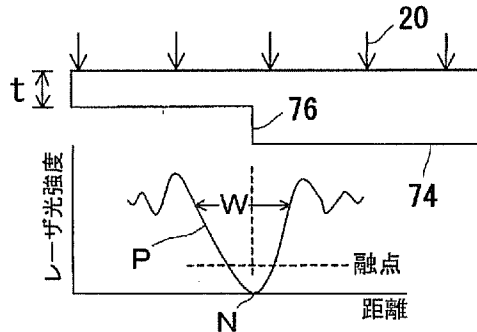
【図 4】



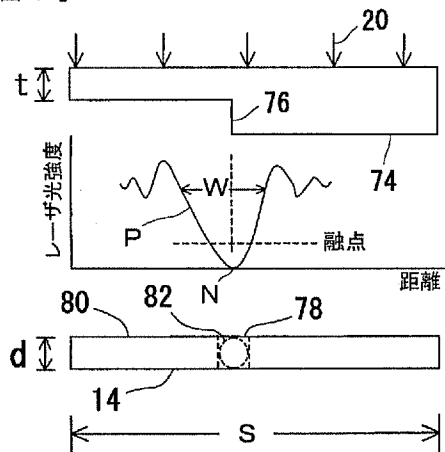
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【図 8】

